

◆특집◆ 정밀공학 관련 벤처기업 소개

인터넷에서 부품 데이터베이스를 이용한 편집 설계

오유천*, 한순홍**

Collaborative Design using Parts Database on the Internet

Youchon Oh*, Soonhung Han**

Key Words : Product Design (제품 설계), Parts Database (부품 데이터베이스), Macro Parametric (매크로 파라메트릭), Electronic Commerce (전자거래), Digital Catalog (디지털 카탈로그)

1. 서론

최근 인터넷의 발달로 전자거래(Electronic Commerce)가 시간과 공간적 제약을 극복하고 국경을 초월한 새로운 국제거래 방식으로 등장하고 있다. 제조업 분야에서도 설계 및 제조에 관련하여 정보기술의 응용과 표준화를 통하여 생산성의 향상 및 효율화를 추구하고 있는데, 이를 위해서는 필수적으로 대규모의 표준화된 부품정보 데이터베이스의 구축이 필요하게 된다. 이에 따라 제조업에서 요구되는 부품 정보를 데이터베이스(DB)화해서 이를 필요로 하는 기업에 전문적으로 서비스하는 기업들도 나타나고 있다. 즉, 인터넷을 이용하여 제품개발자와 부품 공급자 사이에서 설계에 필요한 3D 부품정보를 중계하는 것이다. 이를 위해서는 3 차원 형상기반의 부품정보 데이터베이스를 구축하고 유지하는 작업이 필수적이고, 이를

이용하여 다양한 CAD 시스템에서 언제든지 필요한 형태의 부품정보를 웹을 통해 다운 받아 편집 설계에 직접 사용할 수 있도록 하는 기술의 개발이 필요하게 된다.

기업간(B2B) 전자거래가 정착하여 우리나라 산업의 생산성과 경쟁력을 높이기 위해서는 중소기업체의 정보화가 필요하다. 자동차는 2 만개의 부품을 조립하여 생산되는데 이들을 주문해서 조달하는 일은 큰 사업이며, 이 업무를 인터넷 거래로 전환하여 SCM(supply chain management)을 효율화하는 작업이 필요하다. 이 과정에는 1 차 협력업체 뿐만이 아니라 2 차, 3 차의 협력업체들이 공급 사슬을 형성하고 있다. 현대자동차와 같은 대기업은 자체 능력으로 정보화를 추진할수 있는 반면에, 중소기업체의 정보 인프라는 매우 열악하다. 인터넷 장비 뿐만이 아니라 정보기술 인력이 절대적으로 부족한 실정이다. 기업간 전자상거래는 대기업 혼자서 할 수 없는 것이므로, 상거래의 다른 축인 중소기업의 정보화 공백을 벤처기업과 정부가 메꿔줘야 한다.

본 고에서는 제품 개발기간의 단축을 위해 필요한 제품의 편집설계 기술, STEP 과 매크로 파라메트릭 등 표준화 기술, 디지털 카탈로그 등 부품 데이터베이스의 구축에 필요한 기술들에 대해 설명한다.

* ㈜부품디비 기술연구소장

Tel. 042-862-5040, Fax. 042-869-5040

Email youchon@partdb.com

제품설계, CAD, 매크로 파라메트릭 등에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다

** 한국과학기술원 기계공학과 부교수

Tel. 042-869-3040, Fax. 042-869-5040

Email shhan@kaist.ac.kr

CAD, STEP, 전자거래 등에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

2. 제품의 편집설계

2.1 제품 개발기간의 단축

최신형 자동차의 개발기간이 최근 몇 년 사이에 엄청나게 줄어들고 있다. 국내의 자동차 회사들의 경우에 몇 년 전에는 신차 개발에 30 개월이 소요되었으나, 현재는 20 개월 정도로 줄었다고 한다. 크라이슬러나 도요타의 경우에는 18 개월이면 신차를 개발한다고 하며, GM 은 이를 15 개월로 개발기간을 줄이려는 계획을 추진중이다.

가전제품이나 핸드폰과 같은 전자제품의 제품 수명도 마찬가지로 계속 짧아지고 있어, 상품의 경쟁력에서 제품의 출하기간의 단축이 차지하는 비중이 점점 높아지고 있다. 가격(cost), 품질(quality), 납기(time to market)로 정리되는 제조업의 경쟁력을 확보하는 3 개 요소 중에서, 개발기간의 단축은 어느 때보다 중요하게 여겨지고 있다. 가격이 약간 비싸더라도 새로운 소비자 욕구를 충족시킬수 있는 새로운 제품들을 계속 시장에 내놓는 것이 시장을 장악하는데 더 효과적이다.

하지만 자동차와 같이 복잡한 제품의 개발기간을 30 개월에서 15 개월로 줄인다는 것은 어찌 보면 불가능해 보이는 일이다. 이를 달성하기 위해서는 획기적인 기간의 단축 방안이 필요하며, 여기에는 정보기술이 중요한 역할을 한다. 특히 많은 시간과 비용이 소요되는 실물(physical) 시작차의 제작과 성능시험을 대폭 생략하는 방법이 필요하다. 이 생략된 부분을 디지털 자동차 모델의 시뮬레이션으로 대체하게 되는데, 가상 엔지니어링(virtual engineering)이라고도 불리는 이 기술을 위해서는 정교한 디지털 목업(DMU)이 필요하다.

실물 Mockup 의 제작과 실험을 대폭적으로 생략할 수 있으려면, 실물을 대체할수 있는 정밀한 디지털 모델이 필요하다. 하지만 정밀한 디지털 목업(DMU)의 제작은 노동집약적인 작업이다. 진흙으로 실물 모델을 만들고 수정을 반복하는 일보다는 훨씬 간편하지만, 여전히 많은 노력과 오랜 시간이 소요되므로 부품 모델의 재사용을 최대화하는 방법이 필요하다.

2.2 편집설계

제품의 수명 기간(life cycle)이 점차 단축됨에 따라, 많은 제조업체들이 제품의 경쟁력 확보를 위해 제품 개발 기간을 단축하려고 하고 있다. 이

를 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되는 모형(mock-up)의 제작과 실험을, 디지털 시뮬레이션, 특히, 3 차원 CAD 모델을 사용한 편집 설계로 대체하는 것이 필요하다. 그런데, 제품 하나에 사용되는 부품의 수는 수개에서 수만 개에 이르기 때문에, 제품을 개발할 때마다 모든 부품을 새로 모델링하는 것은 많은 시간과 비용을 소모하게 된다. 따라서, 편집 설계에 필요한 부품을 새로 모델링하기 보다는 3 차원 CAD 모델을 최대한 재사용할 수 있도록, 모델링이 완료된 3 차원 CAD 모델들을 데이터베이스화하는 것이 효과적이다.

실제 설계자들이 제품을 설계할 때 표준부품에 대한 설계정보를 찾고, 해당부품을 다시 그리고 하는데 설계자에게 주어진 설계시간의 상당부분을 소비하고 있다. 이러한 시간의 낭비를 줄일 수 있다면 이는 바로 설계기간의 획기적 단축과 개발비용의 감소로 이어지게 될 것이다. 또한 산업적인 측면에서도 부품산업과 완제품산업을 연계하여 육성하는데도 많은 기여를 할 것이다.

특히 볼트와 너트 같은 단순 부품들은 모델링이 상대적으로 단순하지만 그 숫자가 많아 지루한 모델링 작업이 장시간 소요된다. 따라서 표준화된 부품들을 대량으로 모델링 하여 데이터베이스를 구축하면, 제품의 디지털 모델을 구성할 때 표준부품을 재사용함으로써 시간을 단축할 수 있다. 이는 현재 설계 엔지니어들이 종이 카탈로그를 수집하고 이를 바탕으로 제품을 설계하는 과정을 컴퓨터 작업으로 대체하는 것으로 편집설계라고 불린다. Fig. 1 은 카오디오의 디지털 모델을 구성하는데 있어서 미리 준비된 부품모델을 조립하여 구성하는 편집설계 과정을 보여준다.

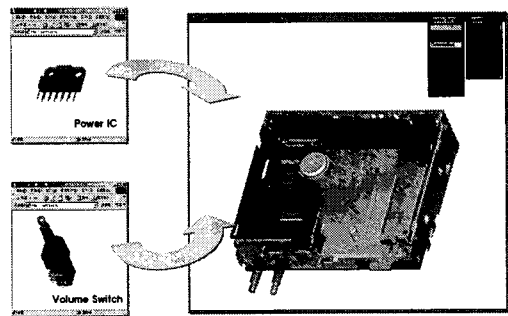


Fig. 1 Collaborative Design of Car Audio

3. 제품 정보의 표준화

3.1 STEP

수 많은 제조업체들이 부품 데이터베이스의 제작과 활용에 참여하기 때문에, 데이터의 교환을 위한 정보 표준이 필요하며, 여기에 새로운 국제 표준인 STEP (STandard for the Exchange of Product model data)을 적용하는 것이 필요하다. 또한 새로 개발중인 매크로 파라메트릭 기술을 활용하면, 설계개발에 사용하는 컴퓨터 시스템이 다르더라도 표준 부품을 설계 요구조건의 변화에 따라 약간씩 변형하여 편집설계에 사용하는 것이 용이해 진다.

STEP 표준은 1984년부터 ISO의 TC184/SC4(제 184 기술위원회의 제 4 분과)에서 제정해 오고 있는데, 1995년에 1 차 표준안 12 개가 공표된 이래 현재까지 22 개의 표준문서가 국제표준으로 발표되었다. 이밖에도 새로 준비중인 문서가 50 여개 있어 거대한 표준문서 체계를 구성하고 있다^[1].

STEP 표준에 해결 안된 문제점이 몇가지 있지만, 그 중에서 부품 데이터베이스와 제품의 편집 설계 과정에 나타나는 문제점은 다음과 같다. 현재 응용 프로토콜 AP 203 이 지원하는 3 차원 형상은 B-rep(Boundary Representation)이기 때문에, 이를 전달 받은 후속공정에서는 설계변경이 어렵다. 인터넷을 통한 원격협력설계가 요구되는 상황에서는 다른 조직에서 설계된 부품이 상당부분 수정되어야 하는 경우가 발생한다.

AP 203 이 가지고 있는 문제점, 즉 설계변경을 후속공정에서 자유롭게 할 수 있는 기술을 파라메트릭(parametric) 변경이라고 하며, 이를 STEP 표준에 포함하기 위해 표준안 작성이 진행되고 있다. 하지만 표준안 제정은 오랜 시간과 많은 인력을 필요로 하는 일이므로, 부품 데이터베이스의 목적에 맞는 새로운 STEP 표준을 제안하여 ISO 표준화 활동에 기여하고 선도하는 일이 필요하다.

현재 ISO의 STEP 위원회에서 진행중인 파라메트릭 대한 표준은 두가지 기술인데, 그 하나는 제한조건에 기반 한 파라메트릭 (Constraint-based Parametric)이고 다른 하나는 설계이력에 기반 한 파라메트릭 (History-based Parametric)이다^[2]. 제한조건에 기반 한 파라메트릭 기술은 상당부분 추진되어 있으나, 설계이력에 기반 한 파라메트릭 기술은 아직 시작 단계에 불과하다. (㉞)부품디비에서 ISO에 제안을 추진중인 매크로 파라메트릭은 설

계이력에 기반 한 파라메트릭 기술의 한 종류로, 후속 공정에서 설계 변경이 용이하다.

3.2 매크로 파라메트릭

매크로 파라메트릭은 설계이력을 기반으로 한 파라메트릭 기술의 한 종류로, 로그파일을 이용한 데이터베이스의 복구(Recovery)에서 힌트를 얻은 것이다^[3]. 시스템 사용자들의 설계 의도를 담고 있는 모델링 이력은 설계자들이 설계작업을 하면서 사용한 명령어에 잘 나타나 있으므로, 모델링 명령어의 이력에 관한 정보를 갖고 있는 명령어의 집합인 매크로를 교환하는 것도 제품 데이터 교환을 할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

매크로 파일은 모델링 이력을 모아 놓은 것으로, 모델링 이력만을 교환함으로써 어느 CAD 시스템에서나 같은 모델을 재생할 수 있게 되는 것이다. 구체적인 데이터 교환은 일반 상용 CAD 시스템의 모델링 명령어 집합과 표준 모델링 명령어 집합을 만들어 각 CAD 시스템들의 명령어 집합과의 매핑 관계를 정의한 후, 사용자가 각 CAD 시스템에서 사용한 명령어를 모은 매크로 파일을 표준 명령어 매크로로 변환함으로써 제품 정보의 교환이 이루어지게 된다. Fig. 2는 매크로 파라메트릭 데이터 변환 시스템의 구성도이다. 데이터 변환 시스템은 CAD 시스템 고유의 매크로 파일을 표준 매크로 파일로 만드는 전처리기와 표준 매크로 파일을 이용하여 CAD 시스템에서 모델을 재구성하는 후처리기로 구성된다. 후처리기는 각 CAD 시스템의 Open API (Application Programmer's Interface)를 이용하여 만들 수 있다^[4].

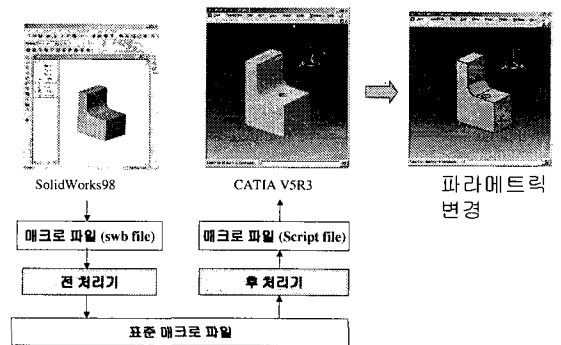


Fig. 2 Parametric Change using Macro Parametric

4. 부품 데이터베이스

4.1 부품 데이터베이스의 구축

자동차는 2 만개의 부품으로 구성되며, 종류로는 1 만개 정도이다. 이중 표준부품으로 분류할 수 있는 것들이 수천개이고, 차종마다 서로 다른 부품과 공유되는 부품으로 나누어진다. 따라서 수만개의 표준부품이 편집설계에 사용될 것이다. 하지만 부품을 생산하는 협력업체의 입장에서 보면, 국내의 9 만개의 중소기업체들이 모두 자동차 부품을 생산하지는 않지만, 각 회사별로 수십종류의 제품을 생산하고 있으므로, 디지털 카탈로그에 해당하는 부품 데이터베이스는 수십만개의 부품을 담고 있게 된다.

수십만 개의 3 차원 CAD 모델을 담고 있는 데이터베이스를 구축하는 일은 많은 인력을 필요로 한다. 부품의 3 차원 CAD 모델링 작업은 중급의 기술자를 필요로 하는 노동집약적 업무이기 때문에, 유사한 사업을 하는 미국의 InPart 사는 인도에서 모델링 작업을 하고 있으며, 이는 저렴하고 우수한 소프트웨어 인력을 활용한다는 의미이다.

국내에서는 대학교의 시설장비와 기술인력을 활용하면 대규모의 데이터베이스를 구축하는데 용이할 것이다. 각 대학의 CAD/CAM 수업이나 제도수업의 실습시간을 활용하고, CAD/CAM 동아리들의 도움을 받을 수 있다^[5]. 많은 대학에서 CAD/CAM 관련 동아리들이 활동하고 있으므로, 이들이 활동할 수 있는 공간과 시설이 확보된다면 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

부품 데이터베이스의 구축에 참여하면 대학에는 어떤 이익이 되는 것인가? 첫째는 중소기업을 지원한다는 명분을 얻을 수 있다. 열악한 중소기업체 정보화를 위해 대학의 장비와 인력을 사용하는 것은 많은 사람들이 환영할 일이다. 두 번째 장점은 CAD/CAM 또는 제도수업이 한층 더 현장감을 갖는다. 내가 타고 다니는 자동차에 사용될 부품을 실습을 통해 모델링하고, 그 부품을 생산하는 제조업체 엔지니어들과 대화를 나누게 된다면, 폐차장에서 부품을 구해다가 모델링하는 교육보다 더 많은 현장감을 느끼게 된다. 세 번째는 모델을 사용하는 조직이 얻는 이익의 일부가 대학으로 환원되므로, 지속적으로 새로운 장비로 교육에 사용할 수 있는 길을 열 것이다.

부품제조업체는 해당 부품에 대한 모든 정보

를 갖고 있으나, 3 차원 CAD 모델링을 위한 시설과 특히 기술인력을 확보하지 못하고 있다. 반면에 대학은 교육을 위한 기자재와 박사급의 고급 기술인력, 그리고 배우려는 의욕을 가진 많은 학생들을 가지고 있으나, 제조 현장에 필요한 노하우와 경험이 부족하다. 이 둘을 효과적으로 연결하면 서로에게 도움이 되는 시너지를 만들어 낼 수 있고, 부품 DB 의 구축과 갱신을 위한 인프라를 형성하게 된다.

4.2 부품 디비의 비즈니스 모델

부품디비 사업의 비즈니스 모델은 Fig. 3 과 같다. B2B 기업간 전자상거래를 활성화하기 위해 필요한 부품제조업체의 정보화가 그 한쪽에 있고, 제품의 개발기간을 획기적으로 단축하기 위해 정교한 디지털 모델을 사용하는 제품제조업체가 다른 축을 구성한다.

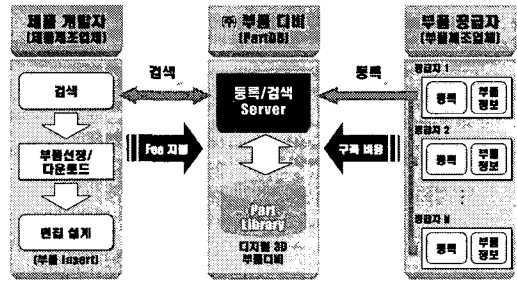


Fig. 3 The business model of PartDB

기대효과를 부품제조업체의 입장과 제품제조업체 입장에서 살펴보면 다음과 같다. 부품업체에서는 기술품질 면에서 경쟁력 부품을 개발해 놓고도 전문인력의 부족으로 시장확보나 마케팅에 어려움을 가지고 있다. 이러한 부품업체가 적은 비용으로 자기들이 개발한 부품에 대한 3 차원 모델링을 당사에 대행시키고, 그 부품을 제품설계에 사용하려는 제품제조업체에게 자사의 부품에 대한 디지털 3D 모델을 당사의 홈페이지를 통해서 웹상에서 자연스럽게 제공함으로써 홍보와 마케팅 측면에서도 상당한 도움을 받을 수 있게 되고 모델링에 필요한 전문인력의 부족을 아주 효과적인 방법으로 메울 수 있게 된다. 또, 현재 종이로 만들고

있는 제품의 카탈로그는 새로운 제품이 개발되면 새로 인쇄해야 하는데, 시간적으로나 비용면에서 소모적이다. 반면에 디지털 카탈로그는 갱신에 소요되는 시간이나 비용이 적고, 해외를 포함한 불특정 다수의 바이어에게 홍보하기 쉽다. 더구나 3차원 형상을 인터넷을 통해 볼 수 있고, CAD 모델을 다운로드 받아 편집설계에 활용할 수 있으므로 종이 카탈로그에 비해 유리하다. 따라서 부품 제조업체에서는 종이 카탈로그의 인쇄와 배포에 들어가는 비용을 부담할 수 있다.

제품제조업체의 입장에서는 새로운 제품을 조기에, 저렴한 가격으로 시장에 내놓는 것이 생존의 관건이 된다. 따라서 설계기간의 단축이 필연적인데 설계자들이 제품설계에 사용될 표준부품에 대한 정보를 찾고 관련 부품을 다시 그리고 하는 단순 반복적인 작업에 많은 시간을 소비할 것 없이 당사의 홈페이지에서 관련 회사의 부품정보와 모델링된 디지털 3D 정보를 검색하여 설계자의 CAD 시스템에 바로 다운로드 받아서 그대로 편집설계에 이용할 수 있으므로 설계기간 단축에 획기적인 효과를 가져올 수 있고, 검증된 디지털 3D 정보를 설계에 이용함으로써 설계신뢰성을 높일 수 있다.

부품디비와 유사한 비즈니스 모델을 가진 회사들이 최근 몇 년 사이에 여러 개 생겨나고 있다. InPart (www.inpart.com)는 미국 실리콘밸리에 위치한 회사로 PTC의 Windchill PDM의 자회사이다. Part-Solutions (www.part-solutions.com)는 솔트레이크 시에 위치한 회사로 mdcybercad의 엔진을 제공하며 독일계 기술을 사용하고 있다. 2000년 6월에 i2 (www.i2.com)와 합병된 Aspect (www.aspectdv.com)는 전자부품을 전문적으로 다루지만 3차원 모델을 제공하지는 않으며, Thomas Publishing (www.thomasregister.com)도 AutoCAD 위주의 2D 도면 파일을 CD에 담아 제공한다.

유럽에는 CompoNET (www.componet.de), Globalspec (www.globalspec.com), www.web2cad.com 등이 활동하고 있는데, 주로 AutoCAD 계열의 AutoLisp 프로그램으로 서비스를 제공한다. 일본에는 도시바 (www.toplib.com) 계열의 Comnes 사 (www.comnes.co.jp) 등의 회사들이 활동하고 있다. 국내에는 삼성 SDS의 사내벤처로 분리를 추진하고 있는 CAD & Part (www.cadnpart.co.kr) 사가 있는데, FA와 금형 부품 위주의 범위에 2차원 도면을

제공하는데 주력하고 있다.

기존에 이러한 부품정보를 디비로 구축해놓고 서비스하는 기존의 회사들(InPart, Thomas Publishing)의 경우 2D 정보만을 제공하던가, 3D CAD 정보를 제공하더라도 몇몇의 상용 CAD 시스템의 포맷으로 정보를 제공하기 때문에 여러 가지 포맷을 보유하여 중복 투자가 발생한다. 또한 대부분 기계부품에 대한 정보만 제공하는 약점이 있다. 부품디비는 국제표준인 STEP의 AP203을 기반으로 하므로, 표준화가 국제수준이고 호환성이나 효율성이 우수하다. 또한 기계분야뿐 아니라 업종별 CALS 사업과 연계하여 전자, 건설, 자동차 부품 분야에서도 서비스를 제공할 수 있도록 데이터베이스를 구축함으로써 실제 부품업체 및 제품 개발업체의 활용도를 극대화 할 예정이다.

부품디비는 부품 정보를 디지털 카탈로그 형태로 제공하는데, 디지털 카탈로그는 인터넷에서 부품 정보를 제공하기 위해 HTML이나 XML 형태로 만들어 진다. Fig. 4는 부품디비에서 제공하는 디지털 카탈로그와 3차원 부품모델을 보여주고 있다. 디지털 카탈로그는 설계자 뿐만 아니라 생산근로자, 협력업체, 소비자, 정비업자 등 다양한 사용자가 쓸 수 있는 제품 정보로 전자거래를 위해서도 필요한 요소가 되었다. 이처럼 부품 데이터베이스를 구축하고, 디지털 카탈로그를 제공하면, 다양한 형태의 부품정보를 누구나 쉽게 웹을 통해 검색이 가능하다.

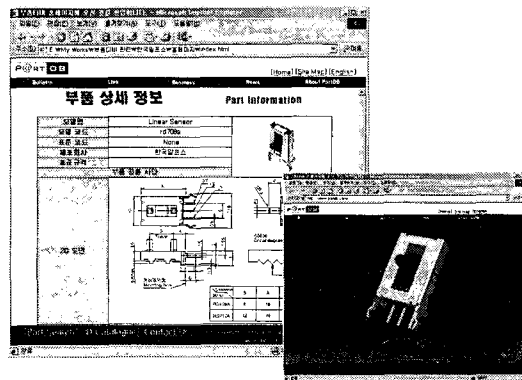


Fig. 4 Digital Catalog

5. 결론

부품 데이터베이스를 구축하고 활용하기 위한 핵심기술은 다음과 같이 세가지 정도로 파악된다. 첫째 대규모 부품 데이터베이스의 구축으로, 이를 위해서는 대규모의 모델링에 필요한 모델링 인프라를 확보하는 것이 필요하다. 그것은 인력과 장비의 확보를 의미한다. 둘째로 일단 데이터베이스가 구축되면 이를 인터넷을 통해 편집설계에 활용하기 위해서, 3D 디지털 카탈로그를 검색하는 기술이 필요하다. 이때 중요한 인자는 검색 속도, 모델의 스테레오 가시화, 원격협력설계 등이 된다. 세번째 핵심기술은 정보 표준이다. 부품제조업체를 포함한 수많은 조직과 이들이 사용하는 다양한 컴퓨터 시스템이 이용되므로 모델 교환을 위한 STEP 표준과, 부품의 분류와 검색을 위한 표준분류코드체계가 필요하다. 특히 편집설계를 위해서는 매크로 파라메트릭 기술의 표준화가 중요하다.

(주)부품디비를 창업한 목표는 다음과 같이 네가지 정도로 정리할 수 있다. 첫째 중소부품제조업체의 정보화에 기여하는 것으로, 이것은 B2B 전자상거래를 활성화 하기 위해서 반드시 확보되어야 하는 인프라다. 둘째는 STEP 표준기술의 사업화이다. 국내에서는 아직 STEP 에 대한 중요성이 인식되지 못하고 있으나, 전자상거래를 뒷받침하는 핵심요소기술의 하나인 중요한 기술에 대해 투자하고 사업화하는 것이 바람직 하다. 세번째는 박사급 고급인력에 대한 수요를 창출하는 것이다. 국내의 산업계는 그동안 박사급 고급인력을 그다지 많이 필요로 하지 않았으며, 소득수준이 높아짐에 따라 공학분야의 박사과정 진학율이 낮아질 것이다. 박사급의 고급 인력을 필요로 하는 벤처기업을 성공시킴으로써, 박사급 인력의 수요가 증가하여 대학원 교육을 활성화하는데 기여할 수 있다. 네번째는 대덕 밸리의 활성화에 기여하는 것이다. 대덕연구단지에서 연구개발된 기술성과를 사업화하여 산업계로 확산시키는데 (주)부품디비가 기여할 수 있다.

후 기

(주)부품디비의 현황은 홈페이지 (<http://partdb.com>)를 통해 접할 수 있다. 1999년 10월에 KAIST 내부의 실험실 창업으로 시작하였으

며, 사무실은 KAIST 캠퍼스의 신기술창업지원단 내에 위치하고 있다.

참고문헌

1. STEP 연구회, “제품 모델 정보 교환을 위한 국제 표준(ISO 10303) STEP,” 성안당, 1997년 6월.
2. M. J. Pratt, “Extension of the Standard ISO10303(STEP) for the exchange of parametric and variational CAD models,” PROLAMAT98, 1998.
3. 오유천, 문두환, 한순홍, “설계 이력을 기반으로 한 매크로 파라메트릭의 표준 모델링 명령어 집합,” 산업공학회 학술발표회 논문집, 2000년 11월.
4. 문두환, “매크로 파라메트릭 방법론을 이용한 CAD 모델의 교환,” 석사학위 논문, 한국과학기술원, 2001년 2월.
5. 한순홍, “디지털 3D 부품정보의 인터넷 거래,” 월간 CAD/CAM, 2000년 9월호, pp. 200-205, 2000.